自然放牧与放牧补饲育肥对肉羊血浆和肌肉中氨基酸组成的影响

张　莹　吴铁梅　王　雪　格日乐玛　史彬林　郭晓宇　闫素梅*

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：本试验研究了呼伦贝尔羊（HL）和呼伦贝尔羊与杜泊羊杂交1代（HZ）羔羊在自然放牧（NG）与放牧补饲（GS）2种不同育肥方式下，其血浆和肌肉组织（背最长肌、臂三头肌、股二头肌）中氨基酸（AA）组成的变化。采用2×2完全随机试验设计，选择体重、体况接近的健康4月龄断奶 HL 和 HZ 公羔各60只。因素1为育肥方式，分为 NG 与 GS；因素2为品种，分为 HL 与 HZ。共分为4组，每组30只。进行为期60 d 的育肥。结果表明：1)NG 组血浆中必需氨基酸(EAA)、限制性氨基酸(LAA)、功能性氨基酸（FAA）和总氨基酸(TAA)含量显著低于 GS 组（$P<0.05$），呈味氨基酸(DAA)含量有低于 GS 组趋势（$0.05\leqslant P<0.10$）。2)与 GS 组相比，NG 组背最长肌中粗蛋白质（CP）、LAA 含量显著升高（$P<0.05$）。3)与 GS 组相比，NG 组臂三头肌中 LAA 和 DAA 含量显著降低（$P<0.05$），EAA 含量均有降低的趋势（$0.05\leqslant P<0.10$）。4)NG 组股二头肌中 CP、EAA、NEAA、TAA、LAA、BCAA、DAA 含量显著低于 GS 组（$P<0.05$）。5)与 HL 组相比，HZ 组血浆 EAA，背最长肌 LAA，臂三头肌 BCAA 和股二头肌 EAA 含量显著或有显著趋势升高（$P<0.10$）。由此可见，放牧补饲组羔羊肉蛋白质营养价值优于自然放牧组，呼杜杂1代羔羊肉蛋白质营养价值优于呼伦贝尔羔羊。

关键词：呼伦贝尔羊；自然放牧；放牧补饲；氨基酸

中图分类号：S826

肉羊养殖业是我国畜牧业发展的重要组成部分，随着生活水平的不断提高，人们对羊肉的需求量不断增加，对羊肉质量的要求也越来越高。因此，从肉羊肌肉氨基酸（AA）组成的角度探讨肉羊生产中育肥方式和品种对羔羊肉品质和风味存在的差异，为深入研究育肥方式和品种对肉羊 AA 代谢的影响机理及改善羊肉营养提供理论依据。必需氨基酸(EAA)的组成与含量通常是衡量羊肉蛋白质优劣的主要指标[1]。美拉德反应是肉品风味形成的重要途

收稿日期：2016-01-06

基金项目：国家公益性行业（农业）科研专项经费（201003061）

作者简介：张　莹（1986-），女，内蒙古巴彦淖尔市人，博士，从事动物营养与饲料研究。E-mail:465844389@qq.com

*通信作者：闫素梅，教授，博士生导师，E-mail: yansmimau @163.com

径，其过程是通过风味氨基酸（DAA）与还原糖之间的反应产生香味[2-3]。与风味相关的 AA 主要包括天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、精氨酸(Arg)、蛋氨酸(Met)和半胱氨酸(Cys)[4-5]。有许多因素影响羊肉的 AA 含量，热孜瓦古丽•米吉提等[6]研究了不同品种绵羊羊肉 AA 成分，结果表明塔多萨杂种羔羊肉含有 20 种 AA，EAA 含量高低依次为塔多萨杂种羔羊＞藏羊＞小尾寒羊＞多浪羊＞托克逊羊＞柯尔克孜羊。权心娇等[7]研究了不同饲养条件对羊肉品质的影响，研究结果表明日光暖棚饲养条件下羊肉中缬氨酸(Val)和异亮氨酸(Ile)这 2 种 EAA 明显高于普通舍饲。呼伦贝尔羊(HL)是经过长期的自然选择和人工培育形成的内蒙古自治区地方优良肉羊品种，其肉质鲜美、无膻味、口感好、营养丰富[8]。呼杜杂 1 代（HZ）是 HL 与杜泊羊的杂交 1 代羔羊。HL 与 HZ 通常在 7 月份断奶，9 月下旬至 10 月上旬出栏。然而，近年来由于呼伦贝尔草原大面积退化、草原荒漠化加剧，以致草场质量大幅度下降，尤其是夏秋季不能满足断奶羔羊快速生长育肥的营养需求，因此，对 HL 和 HZ 进行合理的放牧补饲(GS)，是增加羔羊日增重、出栏体重和净肉率，缩短出栏时间，提高牧民的经济效益的有效措施之一。然而，与自然放牧(NG)相比，GS 是否对羔羊肉的 AA 组成与含量产生明显的影响，以及 HL 与 HZ 羔羊间在 AA 组成方面是否存在差异尚未见报道。

鉴于此，本文旨在研究 NG 和 GS 2 种饲养模式下 HL 及 HZ 的血浆与肌肉组织中 AA 含量和组成的差异，为深入研究育肥方式和品种对肉羊 AA 代谢的影响机理及肉品质的改善提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验设计与饲粮

采用 2×2 完全随机试验设计，选择体重、体况接近的健康 4 月龄断奶 HL[(32.58±0.12) kg]和 HZ[(43.83±0.78) kg]公羔各 60 只。因素 1 为 NG 和 GS 2 种育肥方式，因素 2 为 2 个品种，分别为 HL 和 HZ。共分为 4 组，每组 30 只。育肥试验分为育肥前期（1~30 d）和育肥后期（31~60 d）2 个阶段。NG 组在天然草场进行放牧（8—10 月份），放牧时各阶段采食牧草营养水平与 AA 水平见表 1；GS 组在自然放牧的基础上每天补饲精料，补饲期分为前、后 2 期，共 2 个月。每天的精料补饲量在补饲第 1 个月为 0.27 kg/只，第 2 个月为 0.53 kg/只，精料组成及营养水平见表 2。试验开始前对每组羔羊进行称重。试验期间羔羊

自由采食，自由饮水，舍环境条件及饲养管理均保持一致。

表 1　牧草营养水平与氨基酸水平(风干基础)

Table 1　Nutrient levels and amino acid levels of grass (air-dry basis)　%

项目 Items	9 月 September	10 月 October
粗蛋白质 CP	9.53	5.36
中性洗涤纤维 NDF	62.45	65.31
酸性洗涤纤维 ADF	41.72	40.09
钙 Ca	0.99	0.97
磷 P	0.14	0.07
天冬氨酸 Asp	0.79	0.70
苏氨酸 Thr	0.28	0.22
丝氨酸 Ser	0.29	0.19
谷氨酸 Glu	1.84	1.60
甘氨酸 Gly	0.29	0.18
丙氨酸 Ala	0.34	0.23
半胱氨酸 Cys	0.30	0.25
缬氨酸 Val	0.16	0.13
蛋氨酸 Met	0.10	0.08
异亮氨酸 Ile	0.23	0.14
亮氨酸 Leu	0.30	0.21
酪氨酸 Tyr	0.16	0.18
苯丙氨酸 Phe	0.47	0.35
赖氨酸 Lys	0.53	0.15
组氨酸 His	0.25	0.08
精氨酸 Arg	0.26	0.15
脯氨酸 Pro	0.22	0.23
限制性氨基酸 LAA	0.63	0.24
必需氨基酸 EAA	2.58	1.51
非必需氨基酸 NEAA	4.23	3.57
呈味氨基酸 DAA	3.92	3.20
功能性氨基酸 FAA	2.40	1.95
支链氨基酸 BCAA	0.69	0.48
总氨基酸 TAA	6.81	5.08

限制性氨基酸=赖氨酸+蛋氨酸；必需氨基酸=苏氨酸+缬氨酸+蛋氨酸+异亮氨酸+亮氨酸+苯丙氨酸+赖氨酸+组氨酸+精氨酸；非必需氨基酸=天冬氨酸+丝氨酸+谷氨酸+甘氨酸+丙氨酸+半胱氨酸+酪氨酸+脯氨酸；呈味氨基酸=天冬氨酸+谷氨酸+甘氨酸+丙氨酸+精氨酸+蛋氨酸；功能性氨基酸=谷氨酸+亮氨酸+精氨酸；支链氨基酸=缬氨酸+异亮氨酸+亮氨酸。下表同。

LAA=Lys+Met ; EAA=Thr+Val+Met+Ile+Leu+Phe+Lys+His+Arg ; NEAA=Asp+Ser+Glu+Gly+Ala+Cys+Tyr+Pro； DAA=Asp+Glu+Gly+Ala+Arg+Met； FAA=Glu+Leu+Arg；

BCAA=Val+Ile+Leu. The same as below.

表 2　精料组成及营养水平(风干基础)

Table 2　Composition and nutrient levels of concentrates (air-dry basis)　　%

项目 Items	1~30 d	31~60 d
组成 Ingredients		
玉米 Corn	50.80	64.10
双低菜粕 Double-low rapeseed meal	5.00	5.50
大豆粕 Soybean meal	12.50	
棉籽粕 Cottonseed meal	9.00	9.60
干酒糟及其可溶物 DDGS	18.90	18.00
预混料 Premix[1)]	0.60	0.40
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.50	0.50
食盐 NaCl	1.20	0.80
小苏打 $NaHCO_3$	1.50	1.10
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels		
消化能 DE/(MJ/kg)	10.93	11.32
粗蛋白质 CP	20.42	17.79
钙 Ca	0.25	0.44
磷 P	0.62	0.70
中性洗涤纤维 NDF	49.56	53.41
酸性洗涤纤维 ADF	7.98	9.93
天冬氨酸 Asp	1.52	1.12
苏氨酸 Thr	0.78	0.59
丝氨酸 Ser	0.88	0.68
谷氨酸 Glu	4.29	3.60
甘氨酸 Gly	0.69	0.54
丙氨酸 Ala	1.22	1.07
半胱氨酸 Cys	0.61	0.61
缬氨酸 Val	0.85	0.63
蛋氨酸 Met	0.33	0.27
异亮氨酸 Ile	0.74	0.56
亮氨酸 Leu	1.95	1.69
酪氨酸 Tyr	0.74	0.54
苯丙氨酸 Phe	1.27	1.08
赖氨酸 Lys	0.77	0.49
组氨酸 His	0.61	0.52
精氨酸 Arg	1.24	0.92
脯氨酸 Pro	0.35	0.36
限制性氨基酸 LAA	1.10	0.77
必需性氨基酸 EAA	8.54	6.75
非必需性氨基酸 NEAA	10.29	8.56
呈味氨基酸 DAA	9.89	8.13
功能性氨基酸 FAA	7.48	6.21
支链氨基酸 BCAA	3.54	2.88

总氨基酸 TAA	18.83	15.31

1)每千克预混料含有 One kg of premix provided the following：VA 2 500 000 IU，VD 1 250 000 IU，VE 12 500 IU，VK_3 300 mg，VB_1 60 mg，VB_2 1 400 mg，VB_6 150 mg，VB_{12} 0.125 g，烟酸 nicotinic 3 500 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 2 800 mg，叶酸 folic acid 25 mg，Fe 20 g，Cu 4 g，Mn 15 g，Zn 25 g，I 0.15 g，Se 0.15 g，Co 0.13 g。

2)除消化能为计算值外，其他均为实测值。DE was a calculated value, while the rest nutrient levels were measured values.

1.2 样品采集与前处理

育肥试验结束前 1 周，早晨分别从每组空腹的羔羊中选 5 只，颈静脉采血、离心，分离血浆。在育肥试验结束时，分别从每组中选择 5 只羔羊，屠宰后取左侧背最长肌、臂三头肌和股二头肌肉样，包于锡箔纸中，-20 ℃保存以备分析。

1.3 测试指标与方法

测定指标包括血浆、背最长肌、臂三头肌和股二头肌中的17种 AA 含量及其进食量，分别是 Asp、苏氨酸（Thr）、丝氨酸（Ser）、Glu、Gly、Ala、Cys、Val、Met、Ile、亮氨酸（Leu）、酪氨酸（Tyr）、苯丙氨酸（Phe）、赖氨酸（Lys）、组氨酸（His）、Arg、脯氨酸（Pro）。AA 含量的测定采用酸解法，参照 GB/T 5009.124-2003进行，采用 L-8900型号 AA 自动分析仪测定。

牧草和精料的常规指标的测定方法参照张丽英主编《饲料分析与质量检测技术》[9]。

将解冻后的血浆取 750 μL，加等体积的 8%的磺基水杨酸，置于 4 ℃冰箱过夜。取出后在 4 ℃下以 17 968×*g* 离心 20 min，取上清液经 0.22 μm 滤膜过滤至上样瓶中。

将肌肉样品65 ℃烘干、粉碎。乙醚脱脂24 h 以上。称取50 mg 脱脂（精确至0.1 mg）肌肉样品于水解管中，加入15 mL 6 mol/L 盐酸溶液，向水解管中缓慢通入氮气2 min，旋紧水解管的盖子，置于（110±1） ℃干燥箱中水解24 h。水解1 h 后，轻轻摇动水解管，水解24 h 后冷却，摇匀水解液，用定量滤纸干过滤，收集其余滤液于25 mL 容量瓶中定容，作为消化液。

准确移取上述制备好的消化液 0.5 mL 于离心管中，置于氮吹仪上 60 ℃浓缩至近干，然后再加入 200 μL 超纯水浓缩至近干，重复进行 2 次。用 2.5 mL 0.02 mol/L 盐酸溶液超声溶解，经 0.22 μm 滤膜过滤至上样瓶中。

AA 进食量根据干物质进食量（DMI）与饲粮 AA 含量计算。在育肥试验开始和结束时分别从每组选择 6 只羔羊，利用全收粪法和内源指示剂法相结合的方法测定 2 组羔羊的 DMI。采用粪袋对粪样进行收集，试验预试期 7 d，正试期 5 d。正试期每天收集 4 次，记录每天的排粪量，每次采集粪样 50 g，连续采集 5 d；每天跟踪羔羊的放牧采食情况采集牧草样，将采集的粪样与饲料样-20 ℃冷冻保存备用，用以测定其中的 DM 与酸不溶灰分（AIA）的含量。

NG 组的 DMI(g)=每日排出粪 DM 量(g)×粪 DM 中 AIA(%)/牧草 DM 中 AIA(%)；

GS 组的 DMI(g)=每日精料 DMI（g）×精料 AIA（%）/牧草中 AIA（%）+每日精料 DMI（g）-每日排出粪 DM 量(g)×粪中 AIA（%）；

AA 进食量(g/kg $W^{0.75}$)=DMI（g）×饲粮 AA 含量（%）/代谢体重（kg $W^{0.75}$）。

1.4 数据统计分析

试验所得数据用 SAS 9.0 软件进行显著性检验和多重比较，其中，P<0.05 表示差异显著，0.05≤P<0.10 表示趋于显著。

2 结　果

2.1 羔羊 AA 进食量

育肥前期（1~30 d）与育肥后期（31~60 d）各组羔羊的 AA 进食量分别见表3与表4。在育肥前期 GS 组的羔羊 Asp、Thr、Ser、Glu 等17种 AA 进食量及 LAA、EAA、NEAA、DAA、FAA、BCAA 和 TAA 的进食量均显著高于 NG 组(P<0.05)；HZ 组羔羊的17种 AA 及 LAA、EAA、NEAA、DAA、FAA、BCAA 和 TAA 的进食量均显著高于 HL 组羔羊(P<0.05)。育肥后期结果与前期结果相似。

育肥方式与品种的交互作用对育肥前期的17种 AA 及 LAA、EAA、NEAA、DAA、FAA、BCAA 和 TAA 的进食量均有显著影响（P<0.05），除 Lys 进食量以 GS-HZ 组的最高，GS-HL 组最低，LAA 进食量以 GS-HL 组最高，NG-HL 组最低外，其他 AA 进食量均以 GS-HZ 组最高，NG-HL 组最低。除 Asp 和 Pro 外，育肥方式与品种的交互作用对育肥后期的其他15种 AA 及 LAA、EAA、DAA、FAA、BCAA 和 TAA 的进食量均有显著或趋于显著的影响（P<0.10），其中以 GS-HZ 组最高，NG-HL 组或 NG-HZ 组较低。

表3 育肥前期（1~30 d）氨基酸进食量

Table 3 Day intake of amino acids during early fattening period （1 to 30 d） g/kg W$^{0.75}$

氨基酸 AA	组别 Groups				SEM	育肥方式 FM		品种 Species		*P* 值 *P*-value		
	NG-HL	NG-HZ	GS-HL	GS-HZ		NG	GS	HL	HZ	*P*1	*P*2	*P*1×*P*2
天冬氨酸 Asp	76.09^{c}	81.45^{b}	81.09^{b}	95.57^{a}	1.24	78.53^{b}	87.38^{a}	78.59^{b}	88.22^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
苏氨酸 Thr	27.12^{d}	29.03^{c}	32.64^{b}	38.49^{a}	0.47	27.99^{b}	35.18^{a}	29.88^{b}	33.57^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
丝氨酸 Ser	28.44^{d}	30.44^{c}	35.09^{b}	41.36^{a}	0.50	29.35^{b}	37.81^{a}	31.77^{b}	35.67^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
谷氨酸 Glu	177.46^{d}	189.98^{c}	200.76^{b}	236.54^{a}	2.98	183.15^{b}	216.29^{a}	189.10^{b}	212.29^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
甘氨酸 Gly	27.82^{d}	29.79^{c}	31.76^{b}	37.39^{a}	0.47	28.72^{b}	34.20^{a}	29.79^{b}	33.43^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
丙氨酸 Ala	33.07^{d}	35.40^{c}	43.96^{b}	51.76^{a}	0.61	34.13^{b}	47.34^{a}	38.51^{b}	43.24^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
半胱氨酸 Cys	28.55^{c}	30.56^{b}	31.01^{b}	36.51^{a}	0.47	29.46^{b}	33.39^{a}	29.78^{b}	33.41^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
缬氨酸 Val	15.19^{d}	16.27^{c}	24.67^{b}	29.09^{a}	0.32	15.69^{b}	26.59^{a}	19.93^{b}	22.42^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
蛋氨酸 Met	9.74^{d}	10.43^{c}	12.54^{b}	14.78^{a}	0.18	10.06^{b}	13.51^{a}	11.14^{b}	12.51^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
异亮氨酸 Ile	22.09^{d}	23.66^{c}	28.15^{b}	33.18^{a}	0.40	22.81^{b}	30.33^{a}	25.12^{a}	28.22^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
亮氨酸 Leu	29.00^{d}	31.05^{c}	52.13^{b}	61.46^{a}	0.66	29.93^{b}	56.18^{a}	40.57^{b}	45.62^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
酪氨酸 Tyr	14.96^{d}	16.02^{c}	22.83^{b}	26.87^{a}	0.30	15.44^{b}	24.58^{a}	18.89^{b}	21.22^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
苯丙氨酸 Phe	45.63^{d}	48.85^{c}	54.18^{b}	63.85^{a}	0.79	47.09^{b}	58.38^{a}	49.90^{b}	56.04^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
赖氨酸 Lys	50.87^{c}	54.46^{b}	50.36^{c}	59.35^{a}	0.80	52.49^{b}	54.26^{a}	50.61^{b}	56.80^{a}	0.03	<0.01	<0.01
组氨酸 His	24.14^{d}	25.84^{c}	27.80^{b}	32.71^{a}	0.41	24.91^{b}	29.93^{a}	25.97^{b}	29.13^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
精氨酸 Arg	24.80^{d}	26.56^{c}	37.96^{b}	44.75^{a}	0.51	25.60^{b}	40.91^{a}	31.38^{b}	35.28^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
脯氨酸 Pro	21.27^{c}	22.78^{b}	21.60^{c}	25.41^{a}	0.34	21.96^{b}	23.26^{a}	21.44^{b}	24.04^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
限制性氨基酸 LAA	60.61^{d}	64.89^{c}	90.90^{a}	74.14^{b}	0.97	62.55^{b}	67.78^{a}	61.76^{b}	69.32^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
必需氨基酸 EAA	248.59^{d}	266.14^{c}	320.57^{b}	377.68^{a}	4.51	256.57^{b}	345.35^{a}	284.58^{b}	319.59^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
非必需氨基酸 NEAA	407.66^{d}	436.43^{c}	468.04^{b}	551.42^{a}	6.90	420.74^{b}	504.22^{a}	437.85^{b}	491.53^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
呈味氨基酸 DAA	377.54^{d}	404.18^{c}	439.01^{b}	517.30^{a}	6.44	389.65^{b}	472.99^{a}	408.27^{b}	458.39^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
功能性氨基酸 FAA	231.26^{d}	247.58^{c}	290.92^{b}	342.75^{a}	4.14	238.68^{b}	313.41^{a}	261.09^{b}	293.18^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
支链氨基酸 BCAA	69.29^{d}	70.98^{c}	105.02^{b}	123.73^{a}	1.38	68.43^{b}	113.14^{a}	85.66^{b}	96.26^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
总氨基酸 TAA	656.26^{d}	702.58^{c}	788.54^{b}	929.10^{a}	11.41	677.31^{b}	849.54^{a}	722.40^{b}	811.12^{a}	<0.01	<0.01	<0.01

*P*1为育肥方式间的差异，数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）；*P*2为品种间的差异，数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）；*P*1×*P*2表示育肥方式与品种的互作作用，数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

*P*1 was the difference between fattening modes, and values with different small letter superscripts mean significant difference （*P*<0.05）; *P*2 was difference between species, and values with different small letter superscripts mean significant difference （*P*<0.05）; *P*1×*P*2 indicated the interaction between fattening modes and

species， and values with different capital letter superscripts mean significant difference （P<0.05）. The same as below.

表4　育肥后期（31~60 d）氨基酸进食量

Table 4　Day intake of amino acids during late fattening period （31 to 60 d）　g/kg $W^{0.75}$

氨基酸 AA	组别 Groups				SEM	育肥方式 FM		品种 Species		P 值 P-value		
	NG-HL	NG-HZ	GS-HL	GS-HZ		NG	GS	HL	HZ	$P1$	$P2$	$P1 \times P2$
天冬氨酸 Asp	69.10	71.97	82.48	88.79	1.14	70.40^{b}	85.39^{a}	75.56^{b}	80.20^{a}	<0.01	<0.01	0.16
苏氨酸 Thr	21.53^{c}	22.42^{c}	33.08^{b}	35.56^{a}	0.42	21.94^{b}	34.22^{a}	27.11^{b}	28.85^{a}	<0.01	<0.01	0.08
丝氨酸 Ser	19.08^{c}	19.83^{c}	33.94^{b}	36.51^{a}	0.42	19.42^{b}	35.12^{a}	26.25^{b}	27.99^{a}	<0.01	<0.01	0.04
谷氨酸 Glu	158.10^{c}	164.00^{c}	219.74^{b}	236.49^{a}	2.89	161.06^{b}	227.47^{a}	187.86^{b}	199.82^{a}	<0.01	<0.01	0.09
甘氨酸 Gly	18.26^{c}	19.05^{c}	29.20^{b}	31.39^{a}	0.37	18.62^{b}	30.21^{a}	23.54^{b}	25.09^{a}	<0.01	<0.01	0.08
丙氨酸 Ala	22.49^{c}	23.39^{c}	47.75^{b}	51.38^{a}	0.57	22.89^{b}	49.43^{a}	34.68^{b}	37.09^{a}	<0.01	<0.01	0.03
半胱氨酸 Cys	24.67^{c}	25.74^{c}	35.78^{b}	38.51^{a}	0.47	25.15^{b}	37.04^{a}	30.03^{b}	31.99^{a}	<0.01	<0.01	0.09
缬氨酸 Val	12.87^{c}	13.44^{c}	28.02^{b}	30.12^{a}	0.33	13.13^{b}	28.99^{a}	20.19^{b}	21.61^{a}	<0.01	<0.01	0.03
蛋氨酸 Met	8.31^{c}	8.82^{c}	13.88^{b}	14.93^{a}	0.17	8.45^{b}	14.36^{a}	10.99^{b}	11.71^{a}	<0.01	<0.01	0.05
异亮氨酸 Ile	13.69^{c}	14.28^{c}	26.31^{b}	28.33^{a}	0.32	13.96^{b}	27.24^{a}	19.79^{b}	21.16^{a}	<0.01	<0.01	0.04
亮氨酸 Leu	20.31^{c}	21.09^{c}	64.78^{b}	69.74^{a}	0.74	20.67^{b}	67.07^{a}	41.78^{b}	44.92^{a}	<0.01	<0.01	<0.01
酪氨酸 Tyr	18.13^{c}	18.87^{c}	29.99^{b}	32.29^{a}	0.38	18.46^{b}	31.05^{a}	23.85^{b}	25.44^{a}	<0.01	<0.01	0.05
苯丙氨酸 Phe	34.41^{c}	35.8^{c}	56.49^{b}	60.83^{a}	0.71	35.05^{b}	58.49^{a}	45.08^{b}	48.06^{a}	<0.01	<0.01	0.05
赖氨酸 Lys	15.27^{c}	15.85^{c}	25.65^{b}	27.59^{a}	0.32	15.53^{b}	26.55^{a}	20.28^{b}	21.60^{a}	<0.01	<0.01	0.05
组氨酸 His	8.31^{b}	8.68^{c}	21.24^{b}	22.89^{a}	0.25	8.48^{b}	22.01^{a}	14.56^{b}	15.64^{a}	<0.01	<0.01	0.02
精氨酸 Arg	14.58^{c}	15.13^{c}	37.56^{b}	40.46^{a}	0.44	14.83^{b}	38.89^{a}	25.67^{b}	27.54^{a}	<0.01	<0.01	0.01
脯氨酸 Pro	22.63^{c}	23.57^{c}	26.77^{b}	28.80^{a}	0.37	23.05^{b}	27.71^{a}	24.63^{b}	26.13^{a}	<0.01	<0.01	0.17
限制性氨基酸 LAA	23.51^{c}	24.53^{c}	39.53^{b}	42.52^{a}	0.49	23.97^{b}	40.91^{a}	31.24^{b}	33.34^{a}	<0.01	<0.01	0.01
必需氨基酸 EAA	149.31^{c}	155.44^{c}	307.02^{b}	330.4^{a}	3.69	152.09^{b}	317.81^{a}	225.45^{b}	241.14^{a}	<0.01	<0.01	0.03
非必需氨基酸 NEAA	352.53	398.39	505.58	544.06	6.74	373.37^{b}	523.34^{a}	426.42^{b}	469.74^{a}	<0.01	<0.01	0.61
呈味氨基酸 DAA	315.52^{c}	328.54^{c}	466.31^{b}	501.85^{a}	6.02	312.44^{b}	482.72^{a}	388.32^{b}	413.43^{a}	<0.01	<0.01	0.08
功能性氨基酸 FAA	192.93^{c}	200.89^{c}	322.14^{b}	346.65^{a}	4.03	196.55^{b}	333.46^{a}	255.31^{b}	272.28	<0.01	<0.01	0.06
支链氨基酸 BCAA	46.89^{c}	48.82^{c}	119.11^{b}	128.19^{a}	1.39	47.77^{b}	123.30^{a}	81.75^{b}	87.69^{a}	<0.01	<0.01	0.02
总氨基酸 TAA	501.84^{c}	522.50^{c}	812.59^{b}	874.46^{a}	10.3	511.23^{b}	841.15^{a}	651.86^{b}	694.89^{a}	<0.01	<0.01	0.06

2.2　育肥方式和品种对羔羊血浆 AA 组成的影响

育肥方式和品种对羔羊血浆 AA 组成的影响见表5。与 GS 组相比，NG 组血浆中 Thr、Ser、Ala、Met、Leu、Phe、Lys、His、Arg 和 Pro 的含量显著降低（P<0.05），但 Gly 和 Cys 的含量显著升高（P<0.05）。NG 组血浆中 EAA、LAA、FAA 和 TAA 含量显著低于 GS 组（P<0.05），DAA 含量有低于 GS 组的趋势（0.05≤P<0.10）。与 HL 组相比，HZ 组血

浆中 Thr、Glu、Gly、Ala、Met、Tyr 和 Pro 含量显著升高（P<0.05），Cys 含量有高于 HL 组的趋势（0.05≤P<0.10）。与 HL 组相比，HZ 组血浆中 EAA 含量显著升高（P<0.05），EAA/TAA 显著降低（P<0.05）。

育肥方式与品种的交互作用对血浆 Asp 和 Ser 含量有显著的影响（P<0.05）。其中，Asp 含量以 GS-HL 组最高，GS-HZ 组羊最低；Ser 含量以 GS-HL 组羊最高，NG-HL 组羊最低。

表5　育肥方式和品种对羔羊血浆氨基酸组成的影响

Table 5　Effects of fattening mode and specie on plasma AA composition of lambs　　μmol/L

氨基酸 AA	组别 Groups				SEM	育肥方式 FM		品种 Species		*P* 值 *P*-value		
	NG-HL	NG-HZ	GS-HL	GS-HZ		NG	GS	HL	HZ	*P*1	*P*2	*P*1×*P*2
天冬氨酸 Asp	10.51[b]	11.75[a]	12.37[a]	10.34[b]	0.35	11.13	11.47	11.44	11.12	0.39	0.39	<0.01
苏氨酸 Thr	102.37[d]	122.85[c]	134.89[b]	145.86[a]	2.21	112.61[b]	140.38[a]	116.83[b]	133.07[a]	<0.01	<0.01	0.06
丝氨酸 Ser	60.78[b]	77.199[b]	106.15[a]	69.37[b]	4.94	68.08[b]	89.81[a]	83.47	78.29	<0.01	0.07	<0.01
谷氨酸 Glu	233.17	284.99	227.33	281.19	18.68	261.96	250.42	230.25[b]	283.57[a]	0.80	0.03	0.96
甘氨酸 Gly	423.02	519.12	309.03	449.36	26.74	471.07[a]	379.19[b]	366.02[b]	484.24[a]	0.03	<0.01	0.54
丙氨酸 Ala	167.23	201.73	235.61	313.3	12.03	182.56[b]	274.74[a]	201.42[b]	249.55[a]	<0.01	<0.01	0.13
半胱氨酸 Cys	1.91	2.47	0.30	0.49	0.59	2.23[a]	0.38[b]	0.99	1.62	<0.01	0.08	0.57
缬氨酸 Val	120.74	119.08	114.97	113.54	12.56	119.91	114.33	117.53	116.31	0.66	0.93	0.99
蛋氨酸 Met	13.67	13.54	16.19	22.52	1.30	12.46[b]	19.00[a]	13.78[b]	17.54[a]	<0.01	0.01	0.14
异亮氨酸 Ile	61.27	61.38	71.29	59.87	6.96	61.33	66.22	66.28	60.71	0.53	0.45	0.43
亮氨酸 Leu	99.29	106.98	124.26	124.61	7.61	103.14[b]	124.42[a]	113.17	115.79	0.02	0.76	0.76
酪氨酸 Tyr	24.53	43.73	37.16	54.36	4.17	34.13[b]	44.81[a]	30.85[b]	48.46[a]	0.05	<0.01	0.82
苯丙氨酸 Phe	54.83	58.97	70.24	70.65	1.91	65.90[b]	70.42[a]	62.54	64.16	<0.01	0.42	0.36
赖氨酸 Lys	68.36	67.29	93.32	83.64	6.96	67.82[b]	89.02[a]	80.84	74.56	0.01	0.39	0.56
组氨酸 His	42.05	45.81	53.03	55.91	3.14	43.93[b]	54.31[a]	47.54	50.30	0.005	0.41	0.89
精氨酸 Arg	63.40	56.77	76.55	84.81	6.22	62.09[b]	80.22[a]	71.97	69.24	0.01	0.68	0.16
脯氨酸 Pro	22.63	29.12	38.36	65.47	3.99	25.89[b]	50.41[a]	30.49[b]	45.28[a]	<0.01	<0.01	0.24
必需氨基酸 EAA	648.33	685.40	705.50	801.00	36.67	664.20[b]	746.40[a]	676.9[b]	743.2[a]	<0.01	0.01	0.20
非必需氨基酸 NEAA	953.53	1 040.45	1 060.79	1 154.16	110.20	996.99	1 098.14	999.50	1 078.35	0.13	0.25	0.96
总氨基酸 TAA	1 601.90	1 732.00	1 818.00	1 947.00	152.20	1 657.70[b]	1 882.60[a]	1 694.60	1 839.50	0.03	0.10	0.10
必需氨基酸/非必需氨	0.63	0.56	0.71	0.54	0.06	0.60	0.65	0.68	0.69	0.25	0.10	0.18

基酸												
EAA/NEAA												
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	0.40	0.37	0.41	0.37	0.03	0.38	0.39	0.40[a]	0.37[b]	0.42	0.01	0.58
限制性氨基酸 LAA	87.18	83.22	103.45	114.21	12.43	85.20[b]	108.06[a]	95.32	96.50	<0.01	0.86	0.28
支链氨基酸 BCAA	287.00	292.00	280.60	320.30	32.00	289.60	297.60	283.80	304.20	0.60	0.20	0.30
功能性氨基酸 FAA	385.30	440.20	465.30	515.80	67.70	415.80[b]	490.60[a]	425.30	473.80	0.03	0.20	0.90
呈味氨基酸 DAA	927.56	1 018.61	1 029.97	1 141.71	110.20	966.58	1 077.86	978.77	1 080.16	0.09	0.12	0.96

2.3 育肥方式和品种对羔羊背最长肌 AA 组成的影响

育肥方式和品种对羔羊背最长肌 AA 组成的影响见表6。与 GS 组相比，NG 组背最长肌中 Asp 含量显著升高（P<0.05），Lys 和 Arg 含量有高于 GS 组的趋势（0.05≤P<0.10），但 Cys 和 His 含量显著降低（P<0.05）。与 GS 组相比，NG 组背最长肌中 CP、LAA 含量显著升高（P<0.05）。与 HL 组相比，HZ 组背最长肌中 Ile 和 His 含量显著降低（P<0.05），Pro 含量有低于 HL 组的趋势（0.05≤P<0.10），但 Cys 含量显著升高（P<0.05）。

育肥方式与品种的交互作用对背最长肌 Ile、Tyr、Pro 含量有显著或趋于显著的影响（P<0.10），其中以 NG-HL 组最高，NG-HZ 组最低；对 Gly、EAA、NEAA、TAA、LAA 和 DAA 含量有显著或趋于显著的影响（P<0.10），其中以 NG-HL 组羊最高，GS-HL 组羊最低。

表6 育肥方式和品种羔羊背最长肌氨基酸组成的影响(鲜重基础)

Table 6 Effects of fattening mode and specie on AA composition of longissimus of lambs (fresh weight basis) %

氨基酸 AA	组别 Groups				SEM	育肥方式 FM		品种 Species		P 值 P-value		
	NG-HL	NG-HZ	GS-HL	GS-HZ		NG	GS	HL	HZ	$P1$	$P2$	$P1 \times P2$
粗蛋白质 CP	22.08	22.04	21.06	21.16	0.28	22.06[a]	21.11[b]	21.57	21.60	<0.01	0.96	0.81
天冬氨酸 Asp	1.53	1.45	1.37	1.36	0.03	1.48[a]	1.37[b]	1.43	1.41	<0.01	0.46	0.36
苏氨酸 Thr	0.83	0.79	0.81	0.81	0.01	0.80	0.81	0.82	0.80	0.85	0.16	0.20
丝氨酸 Ser	0.68	0.69	0.66	0.66	0.02	0.69	0.66	0.67	0.68	0.25	0.85	0.89
谷氨酸 Glu	2.85	2.86	2.80	2.88	0.08	2.86	2.84	2.82	2.87	0.91	0.60	0.70
甘氨酸 Gly	0.76[a]	0.69[bc]	0.67[c]	0.75[ab]	0.02	0.73	0.70	0.71	0.72	0.26	0.82	<0.01

丙氨酸 Ala	1.10	1.08	1.04	1.07	0.03	1.09	1.06	1.07	1.07	0.28	0.93	0.50
半胱氨酸 Cys	0.065	0.068	0.074	0.081	0.001	0.067^{b}	0.078^{a}	0.070^{b}	0.074^{a}	<0.01	0.03	0.25
缬氨酸 Val	1.13	1.13	1.18	1.22	0.04	1.13	1.20	1.15	1.17	0.17	0.65	0.65
蛋氨酸 Met	0.41	0.43	0.38	0.43	0.02	0.42	0.40	0.40	0.43	0.64	0.17	0.50
异亮氨酸 Ile	0.74	0.64	0.71	0.67	0.01	0.68	0.69	0.72^{a}	0.66^{b}	0.99	<0.01	0.09
亮氨酸 Leu	1.41	1.40	1.37	1.40	0.04	1.40	1.39	1.39	1.40	0.72	0.80	0.60
酪氨酸 Tyr	0.49	0.44	0.45	0.45	0.01	0.46	0.45	0.47	0.44	0.31	0.10	0.08
苯丙氨酸 Phe	0.81	0.77	0.77	0.83	0.02	0.78	0.80	0.79	0.79	0.50	0.70	0.05
赖氨酸 Lys	1.33	1.30	1.18	1.24	0.06	1.31	1.21	1.25	1.27	0.08	0.78	0.46
组氨酸 His	0.60	0.56	0.63	0.61	0.01	0.58^{b}	0.62^{a}	0.61^{a}	0.58^{b}	0.02	0.04	0.64
精氨酸 Arg	1.18	1.09	1.05	1.08	0.04	1.13	1.06	1.11	1.08	0.07	0.51	0.14
脯氨酸 Pro	0.49^{a}	0.39^{b}	0.45^{ab}	0.47^{a}	0.02	0.43	0.46	0.47	0.43	0.19	0.05	<0.01
必需氨基酸 EAA	8.51	8.22	8.05	8.41	0.13	8.35	8.20	8.25	8.30	0.39	0.72	0.06
非必需氨基酸 NEAA	8.07	7.85	7.52	8.07	0.14	7.95	7.73	7.73	7.95	0.31	0.21	0.05
总氨基酸 TAA	16.58^{a}	16.08^{ab}	15.40^{b}	16.48^{ab}	0.29	16.29	15.80	15.84	16.25	0.25	0.25	0.04
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA	1.05	1.05	1.05	1.05	0.01	1.05	1.05	1.05	1.05	0.82	0.83	0.85
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	0.51	0.51	0.51	0.51	0.003	0.51	0.51	0.51	0.51	0.88	0.82	0.82
限制性氨基酸 LAA	1.77^{a}	1.71^{a}	1.50^{b}	1.76^{a}	0.04	1.74^{a}	1.61^{b}	1.61^{b}	1.74^{a}	0.04	0.03	<0.01
支链氨基酸 BCAA	3.35	3.13	3.28	3.24	0.07	3.23	3.26	3.32	3.18	0.68	0.08	0.21
功能性氨基酸 FAA	5.77	5.46	5.32	5.36	0.14	5.62	5.34	5.54	5.41	0.11	0.39	0.29
呈味氨基酸 DAA	8.00	7.85	7.43	7.95	0.15	7.91	7.63	7.64	7.89	0.20	0.17	0.09

2.4 育肥方式和品种对羔羊臂三头肌 AA 组成的影响

育肥方式和品种对羔羊臂三头肌 AA 组成的影响见表7。与 GS 组相比，NG 组臂三头肌中 Asp、Thr、Gly、Cys、Ile、Leu、Phe 和 His 含量显著降低（P<0.05）。NG 组臂三头肌中LAA和DAA含量显著低于GS组（P<0.05），EAA含量有低于GS组的趋势（0.05≤P<0.10）。

与 HL 组相比，HZ 组臂三头肌中 Ile 含量显著升高（P<0.05），但 Thr 和 Tyr 含量显著降低（P<0.05）。与 HL 组相比，HZ 组臂三头肌中 BCAA 含量显著升高（P<0.05）。

育肥方式与品种的交互作用对臂三头肌 Thr、Glu、Leu、Phe 和 His 含量有显著影响（P<0.05），其中以 GS-HL 组羊最高，NG-HL 组羊最低。Ser 含量以 NG-HZ 组羊最高，NG-HL 组羊最低。Tyr 含量以 GS-HL 组羊最高，GS-HZ 组羊最低。Pro 含量以 GS-HZ 组羊最高，NG-HZ 组羊最低。

表7　育肥方式和品种羔羊臂三头肌氨基酸组成的影响(鲜重基础)

Table 7　Effects of fattening mode and specie on AA composition of arm triceps muscle of lambs (fresh weight basis)　%

氨基酸 AA	组别 Groups				SEM	育肥方式 FM		品种 Species		*P* 值 *P*-value		
	NG-HL	NG-HZ	GS-HL	GS-HZ		NG	GS	HL	HZ	*P1*	*P2*	*P1*×*P2*
粗蛋白质 CP	19.94	20.06	20.21	20.83	0.30	20.00	20.52	20.08	20.44	0.11	0.24	0.42
天冬氨酸 Asp	1.26^{b}	1.37^{a}	1.41^{a}	1.42^{a}	0.03	1.32^{b}	1.41^{a}	1.34	1.39	<0.01	0.11	0.11
苏氨酸 Thr	0.72^{b}	0.73^{b}	0.83^{a}	0.74^{b}	0.01	0.73^{b}	0.78^{a}	0.77^{a}	0.73^{b}	<0.01	0.03	<0.01
丝氨酸 Ser	0.58^{b}	0.63^{a}	0.62^{a}	0.6^{ab}	0.01	0.60	0.61	0.60	0.61	0.42	0.22	<0.01
谷氨酸 Glu	2.69^{c}	2.85^{ab}	2.94^{a}	2.76^{bc}	0.04	2.76	2.85	2.78	2.81	0.07	0.59	<0.01
甘氨酸 Gly	0.67	0.67	0.71	0.73	0.02	0.67^{b}	0.72^{a}	0.69	0.70	0.02	0.74	0.77
丙氨酸 Ala	0.97	1.00	1.00	0.99	0.03	0.99	1.00	1.00	1.00	0.76	0.79	0.42
半胱氨酸 Cys	0.07	0.07	0.08	0.08	0.002	0.07^{b}	0.08^{a}	0.08	0.08	0.03	0.68	0.36
缬氨酸 Val	1.10	1.12	0.89	1.10	0.08	1.11	1.00	0.99	1.11	0.20	0.18	0.27
蛋氨酸 Met	0.32	0.35	0.37	0.36	0.02	0.34	0.37	0.35	0.36	0.21	0.54	0.45
异亮氨酸 Ile	0.66	0.72	0.73	0.74	0.01	0.68^{b}	0.74^{a}	0.69^{b}	0.73^{a}	0.01	0.03	0.25
亮氨酸 Leu	1.28^{b}	1.32^{b}	1.43^{a}	1.34^{b}	0.02	1.30^{b}	1.38^{a}	1.34	1.33	0.01	0.67	0.03
酪氨酸 Tyr	0.42^{b}	0.43^{b}	0.49^{a}	0.41^{b}	0.01	0.42	0.44	0.45^{a}	0.42^{b}	0.11	0.03	<0.01
苯丙氨酸 Phe	0.62^{b}	0.70^{a}	0.72^{a}	0.70^{a}	0.02	0.66^{b}	0.71^{a}	0.67	0.70	0.03	0.13	0.02
赖氨酸 Lys	1.14	1.17	1.23	1.20	0.04	1.15	1.21	1.18	1.18	0.19	0.97	0.49
组氨酸 His	0.45^{c}	0.49^{b}	0.52^{a}	0.5^{ab}	0.01	0.47^{b}	0.51^{a}	0.49	0.50	<0.01	0.39	<0.01
精氨酸 Arg	0.99	1.02	1.06	1.02	0.02	1.01	1.04	1.02	1.02	0.17	0.98	0.14
脯氨酸 Pro	0.44^{ab}	0.40^{b}	0.45^{ab}	0.47^{a}	0.01	0.42	0.46	0.44	0.43	0.06	0.45	0.07
必需氨基酸 EAA	7.27	7.52	7.67	7.67	0.14	7.38	7.67	7.45	7.61	0.09	0.30	0.41
非必需氨基酸 NEAA	7.14	7.34	7.25	7.37	0.16	7.24	7.32	7.18	7.36	0.67	0.30	0.78

总氨基酸 TAA	14.41	14.96	15.25	15.04	0.28	14.68	15.13	14.78	15.00	0.14	0.45	0.20
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA	1.02	1.04	1.02	1.04	0.01	1.03	1.03	1.02	1.04	0.87	0.20	0.93
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	0.50	0.51	0.51	0.51	0.003	0.51	0.51	0.51	0.51	0.88	0.19	0.98
限制性氨基酸 LAA	1.42[b]	1.60[a]	1.66[a]	1.60[a]	0.04	1.51[b]	1.63[a]	1.54	1.60	0.02	0.19	0.02
支链氨基酸 BCAA	3.02	3.14	2.94	3.23	0.07	3.07	3.08	2.98[b]	3.18[a]	0.99	0.02	0.29
功能性氨基酸 FAA	4.94	5.16	5.09	5.19	0.11	5.05	5.14	5.01	5.17	0.48	0.18	0.61
呈味氨基酸 DAA	7.15	7.21	7.75	7.39	0.12	7.18[b]	7.54[a]	7.41	7.30	0.02	0.45	0.15

2.5 育肥方式和品种对羔羊股二头肌 AA 组成的影响

育肥方式和品种对羔羊股二头肌 AA 组成的影响见表8。与 GS 组相比，NG 组股二头肌中 Glu、Gly、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe 和 His 含量显著降低（P<0.05），Asp、Lys 含量有低于 GS 组的趋势（0.05≤P<0.10）。NG 组中 CP、EAA、NEAA、TAA、LAA、BCAA、DAA 含量显著低于 GS 组（P<0.05）。与 HL 组相比，HZ 组股二头肌中 Met、Ile 和 Phe 含量显著升高（P<0.05），Gly 和 Pro 含量有高于 HL 组的趋势（0.05≤P<0.10）。与 HL 组相比，HZ 组股二头肌中 EAA 含量有升高的趋势（0.05≤P<0.10）。

育肥方式与品种的交互作用对股二头肌 Val 含量有显著的影响（P<0.05），其中以 GS-HL 组羊最高，NG-HL 组羊最低。CP 含量以 GS-HZ 组羊最高，NG-HZ 组羊最低。

表8 育肥方式和品种羔羊股二头肌氨基酸组成的影响(鲜重基础)

Table 8 Effects of fattening mode and specie on AA composition of biceps femoris muscle of lambs (fresh weight basis) %

氨基酸 AA	组别 Groups				SEM	育肥方式 FM		品种 Species		*P* 值 *P*-value		
	NG-HL	NG-HZ	GS-HL	GS-HZ		NG	GS	HL	HZ	*P*1	*P*2	*P*1×*P*2
粗蛋白质 CP	20.53	20.52	20.82	21.44	0.17	20.52[b]	21.13[a]	20.68	20.98	<0.01	0.09	0.08
天冬氨酸 Asp	1.36	1.43	1.45	1.52	0.04	1.40	1.48	1.41	1.48	0.05	0.13	0.92
苏氨酸 Thr	0.76	0.77	0.81	0.78	0.02	0.76	0.79	0.77	0.78	0.15	0.76	0.28
丝氨酸 Ser	0.65	0.70	0.68	0.70	0.02	0.68	0.69	0.66	0.70	0.62	0.17	0.69

谷氨酸 Glu	2.88	2.94	3.13	3.00	0.05	2.91^{b}	3.06^{a}	3.00	2.97	0.03	0.63	0.14
甘氨酸 Gly	0.67	0.72	0.74	0.74	0.01	0.69^{b}	0.74^{a}	0.70	0.73	<0.01	0.09	0.12
丙氨酸 Ala	1.00	1.05	1.06	1.05	0.03	1.03	1.05	1.03	1.05	0.47	0.54	0.36
半胱氨酸 Cys	0.08	0.08	0.09	0.08	0.00	0.08	0.09	0.09	0.08	0.56	0.12	0.36
缬氨酸 Val	1.08^{b}	1.13^{ab}	1.23^{a}	1.14^{ab}	0.03	1.11^{b}	1.19^{a}	1.16	1.14	0.03	0.54	0.04
蛋氨酸 Met	0.35	0.41	0.43	0.42	0.01	0.39^{b}	0.43^{a}	0.39^{b}	0.42^{a}	<0.01	0.03	0.05
异亮氨酸 Ile	0.62	0.70	0.70	0.74	0.02	0.66^{b}	0.72^{a}	0.66^{b}	0.72^{a}	0.01	0.02	0.32
亮氨酸 Leu	1.35	1.41	1.44	1.45	0.02	1.37^{b}	1.44^{a}	1.39	1.43	0.01	0.16	0.24
酪氨酸 Tyr	0.41	0.44	0.44	0.47	0.01	0.42^{b}	0.45^{a}	0.43	0.45	0.04	0.10	0.80
苯丙氨酸 Phe	0.71	0.72	0.73	0.78	0.01	0.72^{b}	0.75^{a}	0.72^{b}	0.75^{a}	0.02	0.04	0.24
赖氨酸 Lys	1.25	1.31	1.33	1.33	0.02	1.28	1.33	1.30	1.32	0.08	0.43	0.29
组氨酸 His	0.47	0.50	0.51	0.54	0.01	0.49^{b}	0.52^{a}	0.50	0.52	<0.01	0.12	0.77
精氨酸 Arg	1.05	1.09	1.07	1.10	0.02	1.07	1.09	1.06	1.10	0.51	0.21	0.89
脯氨酸 Pro	0.35	0.38	0.37	0.41	0.01	0.37	0.39	0.36	0.39	0.16	0.06	0.76
必需氨基酸 EAA	7.75	8.00	8.20	8.36	0.08	7.89^{b}	8.27^{a}	8.00	8.16	<0.01	0.09	0.62
非必需氨基酸 NEAA	7.45	7.75	7.98	7.98	0.14	7.62^{b}	7.98^{a}	7.72	7.85	0.03	0.39	0.35
总氨基酸 TAA	15.21	15.75	16.26	16.34	0.21	15.51^{b}	16.30^{a}	15.63	16.01	<0.01	0.24	0.32
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA	1.05	1.03	1.05	1.05	0.01	1.04	1.05	1.05	1.04	0.49	0.45	0.81
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	0.51	0.51	0.51	0.51	0.003	0.51	0.51	0.51	0.51	0.49	0.45	0.80
限制性氨基酸 LAA	1.64	1.72	1.75	1.79	0.03	1.68^{b}	1.77^{a}	1.70	1.75	0.02	0.16	0.58
支链氨基酸 BCAA	3.12	3.20	3.33	3.28	0.05	3.16^{b}	3.30^{a}	3.23	3.24	0.02	0.93	0.18
功能性氨基酸 FAA	5.27	5.42	5.53	5.48	0.11	5.36	5.51	5.42	5.45	0.21	0.77	0.41
呈味氨基酸 DAA	7.47	7.76	8.00	7.97	0.13	7.63^{b}	7.99^{a}	7.74	7.85	0.03	0.44	0.28

3 讨 论

3.1 品种对羊肉蛋白质营养价值的影响

品种是肌肉 AA 含量的主要影响因素之一[10-11]。钱文熙等[12-13]研究了舍饲条件下滩羊、小尾寒羊及滩羊杂交1代羔羊体内 AA 组成的差异，结果指出滩羊肉 EAA 总量显著高于其他

2组，说明其营养价值较高。热孜瓦古丽•米吉提等[6]研究了不同品种绵羊羊肉 AA 成分，结果表明塔多萨杂种羔羊含有20种氨基酸，EAA 含量为塔多萨杂种羔羊＞藏羊＞小尾寒羊＞多浪羊＞托克逊羊＞柯尔克孜羊。品种间羊肉 AA 组成差异的报道相对甚少，目前的研究主要集中在猪和禽类等动物。本试验结果得出，与 HL 组相比，HZ 组背最长肌 LAA，臂三头肌 BCAA 和股二头肌 EAA 含量显著或有显著趋势升高。因此，从 AA 营养的角度分析，HZ 组羊肉营养价值略高于 HL 组羊肉。目前，针对 HL 组与 HZ 组羊肉 AA 含量比较的研究尚未见报道，从本试验结果血浆 AA 组成结果看，HZ 组血浆 AA 除 Ser 有低于 HL 组的趋势外，Thr、Glu、Gly、Ala、Cys、Met、Tyr 及 Pro 含量均显著或有显著趋势地高于 HL 组，其他 AA 含量间均无显著差异。这可能也部分地解释了其原因，但确切的机制需要进一步探讨。饲粮 AA 进食量是影响血浆 AA 组成的主要原因之一，本试验结果得出，HZ 组羔羊单位代谢体重的 AA 进食量显著高于 HL 组。BCAA 是机体内重要的供能 AA，加速体内糖异生作用从而为机体提供能量[14]。本试验结果得出，HZ 组臂三头肌中 BCAA 含量显著高于 HL 组，股二头肌中 BCAA 含量略高于 HL 组，说明 HZ 组肌肉组织能够更好地为机体提供能量并促进蛋白质的合成，该结果部分解释了 HZ 组蛋白质水平高于 HL 组羔羊。此外，肌肉组织的 AA 含量在品种间的差异，还可能与不同品种对 AA 的利用、代谢水平及遗传因素不同有关，但确切的机制需要进一步探讨。

3.2 育肥方式对羊肉蛋白质营养价值的影响

育肥方式是影响羊肉蛋白质品质的另一个重要因素。本试验中的 GS 组与 NG 组相比，由于补饲了精补料，其摄取的能量、蛋白质量均增加，羊肉 AA 组成也发生了变化，因此，育肥方式的影响可能主要是由饲粮中能量和蛋白质水平及 AA 组成的差异导致的。Bikker 等[15]研究发现，饲粮中蛋白质和能量水平是导致机体组织 AA 差异的主要原因。Hoskin 等[16]以羊为研究对象，发现随着饲粮中能量水平的提高，AA 合成肌肉蛋白质的速率增加；不同能量水平条件下，对肌肉 Gly、Ile、Leu、Phe 和 Ser 含量没有影响。孙永成[17]研究发现，中等能量和高能量饲喂组的羔羊，提高饲粮中的蛋白质水平可以显著提高肌肉中 AA 的含量。冯涛[18]研究了饲喂蛋白质水平分别为 13%、15%和 17%的饲粮对舍饲羔羊羊肉 AA 组成的影响，结果得出，饲喂饲粮蛋白质水平 17%的羔羊肉中沉积了更丰富的 EAA。本试验中 GS 组由于补饲了精料，使得饲粮中的能量、CP 与 TAA 含量均升高，因此，臂三头肌和股二头

肌中 CP、EAA、NEAA、FAA、TAA 和 LAA 含量均高于 NG 组。此外，营养物质在动物体内的分配会受到饲粮进食量、AA 组成、采食行为、生理状态和外界环境等因素的影响[19]。饲粮进食量、蛋白质和 AA 水平直接影响血浆蛋白质和 AA 的含量。本试验结果得出，GS 组羔羊单位代谢体重的 AA 进食量显著高于 NG 组，从血浆 AA 组成结果看，GS 组血浆 AA 除 Gly 和 Cys 含量显著低于 NG 组外，Thr、Ser、Ala、Met、Leu、Phe、Lys、His、Arg、Pro、EAA、TAA、LAA 和 FAA 含量均显著高于 NG 组，这可能部分解释了 GS 组臂三头肌和股二头肌中大部分 AA 含量高于 NG 组的原因。研究指出饲粮中 AA 具有促进机体蛋白质合成的功能，其作用的机理与提高了血液中胰岛素的水平有关[20]。Li 等[21]研究发现，饲粮中的 BCAA 通过激活细胞膜上的 AA 转运蛋白和抑制能量传感器活化蛋白激酶的活性来促进机体蛋白质的合成。饲粮中的 Leu 通过调控 mTOR 信号的活性影响机体蛋白质的合成，当 Leu 含量增加时，mTOR 的下游 4E 结合蛋白 1（4E-BP1）发生磷酸化而失去活性，引起其真核起始因子 4(eIF4)的解离，从而促进蛋白翻译[22]。从本试验中饲粮 AA 组成结果分析，补饲的精料中 BCAA 和 Leu 含量均高于牧草，说明 GS 组机体蛋白质合成能力高于 NG 组，该结果进一步从信号通路方面解释了 GS 组臂三头肌和股二头肌中蛋白质水平高于 NG 组的原因，但本试验尚未对相关激素和信号通路进行研究，因此还需要进一步从影响蛋白质代谢的相关激素和信号通路领域进行深入探讨。本试验中不同育肥方式条件下，不仅羔羊的能量、CP 及 AA 的进食量不同，而且也导致了其他营养物质进食量不同，而其他营养物质进食量同样会影响血浆及肌肉中 AA 的组成。因此，在本试验的自然放牧和放牧补饲条件下，2 组羔羊的肌肉 AA 组成存在显著的差异，但其存在差异的确切原因需要进一步深入探讨，进而为放牧补饲条件下通过饲粮对肌肉的蛋白质质量进行调控提供基础。

然而，本试验结果得出，与 GS 组相比，NG 组的背最长肌中 CP、EAA、NEAA、FAA 和 TAA 含量均升高，其肉质优于 GS 组，说明肌肉的 AA 组成存在显著的组织差异性，即放牧补饲对肌肉的 AA 组成与含量的影响与肌肉部位有关，对背最长肌的影响与其对臂三头肌和股二头肌的影响不完全一样；研究结果也得出，背最长肌、股二头肌和臂三头肌中的各种 AA 含量间也存在不同程度的差异。Piao 等[23]研究结果指出，牛背最长肌中 Glu、Ile、Leu、Lys、Ser、Tyr 和 Val 含量显著高于臀肌；但 Arg、Cys、Gly、His 和 Thr 含量显著降低。导致上述结果的原因可能是机体不同组织有各自特殊的功能，因此营养物质在不同组织间的分

配也有差异[24]。甄玉国[25]研究了内蒙古白绒山羊 AA 利用的规律，说明血液中 AA 流量代表着各组织中大量代谢过程的总和，血液中的 AA 一部分用于维持和生长的需要，即肌肉的 AA 沉积；另一部分为皮肤和绒毛生长的需要。MacRea 等[24]图解说明了生长绵羊血浆 AA 库在不同组织中 AA 合成与分解代谢过程间的分配以及总蛋白质合成与蛋白质沉积的关系。

羊肉 AA 的组成和含量不仅影响肉质的蛋白质营养，也会对羊肉风味产生影响。羊肉风味的产生主要是通过鲜味 AA Glu 通过与5′-肌苷酸二钠结合产生鲜味[26]。李述刚等[27-28]研究结果表明，多浪羊羊肉中 Glu 含量高达30.2%，远远高于资料报道的10.4%，而 Glu 又被称为鲜味 AA，是使多浪羊味道鲜美的主要原因。钱文熙等[12-13]研究结果表明滩羊肉中 Met 含量高，其通过热降解可产生含硫的芳香性物质，是其肉质鲜美的一个主要原因。本试验中不同品种和育肥方式条件下与羊肉风味相关的 Glu、Gly、Ala、Cys 和 Met 含量存在不同程度的差异，这可能对肉羊的风味产生影响。然而，脂肪酸含量与组成是影响羊肉风味的主要因素之一，因此，不同育肥方式和品种间羊肉风味究竟存在什么差异，还需要综合脂肪酸和糖代谢进行深入的研究。

4 结 论

放牧补饲羔羊肉蛋白质营养价值优于自然放牧,呼杜杂1代羔羊肉蛋白质营养价值优于呼伦贝尔羔羊。

参考文献：

[1] 孙远明.食品营养学[M].北京:科学出版社,2006.

[2] VAN BOEKEL M A J S.Formation of flavour compounds in the Maillard reaction[J].Biotechnology Advances,2006,24(2):230–233.

[3] STADLER R H,BLANK I,VARGA N,et al.Food chemistry:acrylamide from Maillard reaction products[J].Nature,2002,419(6906):449–450.

[4] 梁庭敏,周万能,杨昀,等.黔东南小香羊肌肉组织中氨基酸和脂肪酸组成的研究[J].中国草食动物,1999(5):38–40.

[5] 杨富民.肉用杂种一代羊肉品质特性研究[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2004.

[6] 热孜瓦古丽·米吉提,买买提伊明·巴拉提,依巴代提·米吉提,等.绵羊羊肉氨基酸成分的比较研究[J].新疆农业科学,2012,49(8):186–189.

[7] 权心娇,王思珍,曹颖霞.不同饲养条件对羊肉品质的影响[J].食品科学,2015,36(15):11–14.

[8] 董淑霞,康静,王永军,等.草原优良新品种——呼伦贝尔羊简介[J].畜牧兽医科技信息,2010(3):104–105.

[9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[10] 毛学荣.河南县欧拉型藏羊肉用性能选育及高原有机肉羊产业的发展研究[J].青海科技,2008,15(3):12–14.

[11] 杨富民.国内羊肉品质分析研究进展[J].甘肃科技,2003,19(2):33–34.

[12] 钱文熙,马春晖,杨星伟,等.舍饲滩羊、小尾寒羊及滩寒 F_1 代羔羊体内氨基酸研究[J].中国草食动物,2006,26(5):56–57.

[13] 钱文熙.滩羊肉品质研究[D].硕士学位论文.银川:宁夏大学,2002.

[14] 刁其玉.动物氨基酸营养与饲料[M].北京:化学工业出版,2007:227–230.

[15] BIKKER P,VERSTEGEN M W,BOSCH M W.Amino acid composition of growing pigs is affected by protein and energy intake[J].The Journal of Nutrition,1994,124(10):1961–1969.

[16] HOSKIN S O,SAVARY-AUZELOUX I C,CALDER A G,et al.Effect of feed intake on amino acid transfers across the ovine hindquarters[J].British Journal of Nutrition,2003,89(2):167–179.

[17] 孙永成.营养水平对波杂羔羊生长性能与羊肉品质的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2006.

[18] 冯涛.日粮蛋白质水平对舍饲羔羊育肥性能及肉品质影响的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2005.

[19] SAVARY-AUZELOUX I,HOSKIN S O,LOBLEY G E.Effect of intake on whole body plasma amino acid kinetics in sheep[J].Reproduction Nutrition and Development,2002,43(1):117–129.

[20] JEFFERSON L S,LI J B,RANNELS S R.Regulation by insulin of amino acid release and protein turnover in the perfused rat hemicorpus[J].Journal of Biological Chemistry,1977,252(4):1476–1483.

[21] LI Y H,WEI H K,LI F N,et al.Supplementation of branched-chain amino acids in

protein-restricted diets modulates the expression levels of amino acid transporters and energy metabolism associated regulators in the adipose tissue of growing pigs[J].Animal Nutrition,2016,doi:10.1016/j.aninu.2016.01.003.

[22] MEIJER A J,LORIN S,BLOMMAART E F,et al.Regulation of autophagy by amino acids and MTOR-dependent signal transduction[J].Amino Acids,2015,47(10):2037–2063.

[23] PIAO M Y,JO C,KIM H J,et al.Comparison of carcass and sensory traits and free amino acid contents among quality grades in loin and rump of Korean cattle steer[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(11):1629–1640.

[24] MACREA J C,WALKER A,BROWN D,et al.Accretion of total protein and individual amino acids by organs and tissues of growing lambs and the ability of nitrogen balance techniques to quantitate protein retention[J].Animal Production,1993,57(2):237–245.

[25] 甄玉国.内蒙古白绒山羊氨基酸利用和蛋白质周转规律的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2002.

[26] JO C,CHO S H,CHANG J,et al.Keys to production and processing of Hanwoo beef:a perspective of tradition and science[J].Animal Frontiers,2012,2(4):32–38.

[27] 李述刚,许宗运,侯旭杰,等.新疆多浪羊肉营养成分分析[J].肉类工业,2005(4):27–29.

[28] 李述刚,许宗运,侯旭杰,等.新疆南疆地方良种羊肉氨基酸的测定分析及对比研究[J].肉类工业,2005(10):34–36.

Effects of Natural Grazing and Grazing with Supplementary Feeding on Amino Acid Composition of Plasma and Muscle of Mutton Sheep

ZHANG Ying WU Tiemei WANG Xue Gerilema SHI Binlin GUO Xiaoyu YAN Sumei*

(*College of Animal Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the changes of amino acid (AA) composition of plasma and muscle tissues (longissimus, arm triceps and biceps femoris) of *Hulunbeier* lambs (HL) and the hybrid (HZ) between HL and Dorper sheep under two fattening

*Corresponding author, professor, E-mail: yansmimau@163.com （责任编辑　王智航）

modes of natural grazing (NG) and grazing with supplementary feeding (GS). The experiment adopted a 2×2 factorial arrangement. Sixty healthy weaned HL and sixty HZ with similar body weight and body condition were selected. Factor 1 was fattening modes (NG vs. GS), and factor was species (HL vs. HZ). Lambs were divided into 4 groups of 30 animals each. The results showed as follows: 1) plasma contents of essential amino acid (EAA), limited AA (LAA), functional AA (FAA) and total AA (TAA) of NG group were significantly lower than those of GS group, delicious AA (DAA) content tended to be lower than of GS group （$0.05 \leq P<0.10$）. 2) Compared with GS group, the contents of CP and LAA of longissimus of NG group were significantly higher （$P<0.05$）. 3) Compared with GS group, the contents of LAA and DAA of arm triceps of NG group were significantly lower（$P<0.05$）, EAA content of NG group tended to be lower（$0.05 \leq P<0.10$）. 4） Compared with GS group, the contents of CP, EAA, non-essential AA (NEAA), TAA, LAA, branched-chain AA (BCAA) and DAA of biceps femoris of NG group were significantly lower（$P<0.05$）. 5) Compared with HL group, plasma EAA, longissimus LAA, arm triceps BCAA and biceps femoris EAA contents were significantly or tended to be significantly increased （$P<0.10$）. It is concluded that muscle protein nutrition value of GS is better than NG, and protein nutrition value of HZ is better than HL.

Key words: *Hulunbeier*; natural grazing; grazing with supplementary feeding; amino acid